第 37 卷第 19 期
2017 年 10 月
生　态　学　报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.37,No.19
Oct.,2017

DOI: 10.5846/stxb201607091410
缪建群,孙松,王志强,黄国勤.江西高天岩自然保护区生态系统服务功能价值评估.生态学报,2017,37(19):6422-6430.
Miao J Q, Sun S, Wang Z Q, Huang G Q. Evaluating the ecosystem services of Gaotianyan Nature Reserve in Lianhua County, Jiangxi Province. Acta Ecologica Sinica,2017,37(19):6422-6430.

江西高天岩自然保护区生态系统服务功能价值评估

缪建群[1,2],孙　松[1],王志强[1],黄国勤[1,*]
1 江西农业大学生态科学研究中心,作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室,南昌　330045
2 江西农业大学理学院,南昌　330045

摘要:高天岩自然保护区位于江西省莲花县,为当地人提供了多项生态服务功能。根据高天岩自然保护区生态与社会经济系统的特征,构建其生态系统服务功能价值评估指标体系,并以 2014 年数据为基础,综合运用成本替代、市场价值、影子工程、造林成本、成果参数和旅行费用等定量分析方法,评估其生态系统的经济价值。结果表明:2014 年,高天岩自然保护区生态系统服务总经济价值为 7.20×10^8元,其中,土壤保持和固碳释氧的经济价值居前两位,分别为 4.39×10^8元和 1.16×10^8元,各占服务总经济价值的 60.89%和 16.11%。9 项服务指标按评估的经济价值大小排序为:土壤保持>固碳释氧>产品供给>生物多样性保护>环境净化>气候调节>旅游休憩>调洪蓄水>社会保障。直观的经济数字反映了高天岩自然保护区生态系统对人类社会的重要贡献,一方面有利于强化管理者和公众保护高天岩自然保护区的意识,另一方面为政府制定高天岩自然保护区生态系统补偿标准提供数据支撑。

关键词:自然保护区;生态系统服务功能;森林生态系统;价值评估;经济价值

Evaluating the ecosystem services of Gaotianyan Nature Reserve in Lianhua County, Jiangxi Province

MIAO Jianqun[1,2], SUN Song[1], WANG Zhiqiang[1], HUANG Guoqin[1,*]
1 *Research Center on Ecological Science, Jiangxi Agriculture University, Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education, Nanchang* 330045, *China*
2 *College of Science, Jiangxi Agriculture University, Nanchang* 330045, *China*

Abstract: Gaotianyan Nature Reserve, a provincial natural conservation area, located in Lianhua County, Jiangxi Province, provides many ecosystem services for the local people. Economic valuation of the main ecosystem services of Gaotianyan Nature Reserve can help us to better understand the direct contribution of the Natural Reservation system to Lianhua County, and ensures that the government comprehensively considers the importance of protecting the Nature Reserve ecosystem when planning a strategy for economic development. In the present study, we established a system of evaluation indexes for the ecosystem service function of Gaotianyan Nature Reserve, according to its ecological and social economic characteristics. We then evaluated the eco-economic values provided by the ecosystem of Gaotianyan Nature Reserve in 2014, using factors such as replacement cost, market value, shadow engineering, cost of afforestation, reference results, and travel expenses. The following results were obtained. Firstly, the total economic value of the ecosystem services provided by Gaotianyan Nature Reserve was estimated to be 7.16×10^8 Yuan in 2014, and the values of soil conservation and carbon fixation and oxygen released were 4.39×10^8 Yuan and 1.16×10^8 Yuan, which accounted for 60.89% and 16.11% of the total value, respectively. Secondly, primary production was a major direct economic source; however, the

基金项目:江西生态文明示范省建设对策研究(20133BBA10005)
收稿日期:2016-07-09;　　**网络出版日期**:2017-05-27

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: hgqjxauhgq@ sina.com

value of the primary production in Gaotianyan Nature Reserve only accounted for 10.75% of the total value of the ecosystem services. This means that using only the value of primary production to measure the value of total ecosystem services would seriously underestimate the ecosystem service value of Gaotianyan Nature Reserve. Finally, the economic values of nine ecosystem service indexes were sorted as soil conservation, carbon fixation and oxygen release, primary production, biodiversity protection, environmental purification, climate regulation, tourism and recreation, flood control and water storage, and social security, according to the value of the evaluation. In conclusion, the direct economic data revealed that Gaotianyan Nature Reserve makes a considerable contribution to our society. It not only helps to improve the consciousness of the administrators and the people involved in protecting the traditional agricultural culture but also provides data support for the government to formulate a compensation standard for Gaotianyan Nature Reserve.

Key Words: nature reserve; ecosystem service function; forest ecosystem; evaluation; economic value

自然保护区是一个内部结构非常复杂、特殊的生态系统,具有独特的生态功能和经济价值。它既可源源不断地为人类提供食物和原料,又为人类提供休闲娱乐的场所,同时还是保护生物多样性及生态环境的重要方式[1-2]。发挥自然保护区的综合示范作用并合理地进行开发,有利于人类社会的可持续发展。然而,自然保护区的这些生态服务功能是以非实物形式间接作用于人类的经济生活,导致人类在开发利用自然保护区资源时忽略其可持续性。从而,破坏了自然保护区的生态环境,改变了自然保护区内部生态系统的结构,使自然保护区生态系统向人类提供的福利减少[3]。

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的环境条件与效用[4]。生态系统及其服务是人类社会可持续发展的基础。自 1997 年,Costanza 等[5]《自然》杂志上发表了有关全球生态系统服务价值估算的结果以来,国际社会就掀起了一股深入研究生态系统服务的热潮。归纳起来主要包括两方面:生态系统评估的指标、方法、模式、有效性和必要性等共性理论[6-11];稻田[12]、森林[13-15]、草地[16]、湿地[17]和湖泊[18]等典型生态系统服务功能的分析和经济价值评估。对于自然保护区生态系统服务功能机理及经济价值的研究仍处于不断完善阶段。

高天岩自然保护区位于九岭山脉的官山国家级自然保护区和罗霄山脉的井冈山国家级自然保护区之间,是连接两国家级自然保护区的"跳板"及物种交流通道。区内地形地貌结构复杂多变,东南西北区系成分汇集过渡,是构成丰富植被类型的有利基础。保护区位于偏远山区,周边的社区经济欠发达,一部分人为了谋求利益,在保护区内乱砍滥伐珍贵树种和猎取珍稀野生动物,严重破坏了保护区内生态系统结构,使保护区生物多样性明显减少。

高天岩自然保护区的保护与治理近年逐步引起管理部门与社会机构的关注和重视,保护其生态系统结构和功能对保护其生物多样性及维持官山与井冈山两国家级自然保护区生态平衡等具有重要意义。确定适宜的保护区生态系统服务评估指标体系并开展生态系统服务价值评估,有助于人们更好地了解高天岩自然保护区生态系统对人类社会的直接贡献,促进人们加强对保护区生态系统的保护;为保护区纳入到政府的经济效益权衡决策分析中提供详实的数据支撑,使政府作经济效益权衡决策时充分考虑保护高天岩自然保护区生态系统。

1　研究区概况

江西高天岩省级自然保护区始建于 1999 年,位于赣西莲花县东北部。总面积 4780 hm^2,其中,林业用地面积 4750 hm^2,非林业用地面积 30 hm^2。林地中,乔木林 4250 hm^2,占 89.47%(其中,针叶林 613 hm^2,占 12.91%;阔叶林 2350 hm^2,占 49.47%;针阔混交林 1287 hm^2,占 27.09%);毛竹林 196 hm^2,占 4.13%;灌木林地 260 hm^2,占 5.47%;无立木林地 44 hm^2,占 0.93%;活立木蓄积 $18\times10^4 m^3$;森林覆盖率达 99.37%。该地区属亚热带季风湿润型气候,年平均气温 14.1℃,最高气温 37.1℃,最低气温-7℃;年均降水量 1673.00 mm;无霜期

278 d;日照时数 1526.4 h。本研究范围涵盖整个自然保护区,其中,固碳释氧、调洪蓄水和环境净化的估算主要基于其森林生态系统。

2 数据资料来源及解释

数据资料主要来源于 2015 年 5 月莲花县实地调研,以及《莲花县统计提要 2014》、《高天岩保护区总体规划》、《莲花县志》等,同时参考借鉴部分他人的研究结果。为体现时效性,各种服务功能指标的评估单价采用当期(2014 年)市场价格。其中,各种肥料价格使用江西省统一报价;社会保障标准采用萍乡市最低生活保障;毛竹价格采用 2014 年莲花县平均售价;对于像气体调节和调洪蓄水等当前缺乏市场统一报价的服务功能指标,本研究在参考已有成果参数的基础上,考虑到不同时期居民家庭购买消费商品及服务价格水平的变动情况,应用当期(2014 年)居民消费价格定基指数和基期(原始数据出版年份,若原始数据出版年份不明确则采用最早引用该数据的参考文献出版年份)居民消费价格定基指数之比进行修正。

3 研究方法

生态系统最终服务是生态系统对人类效益的直接贡献[19]。本文基于高天岩自然保护区生态系统的内涵及其所处区域的社会经济特征,将其最终服务价值评估指标体系确定为表 1 所列 9 项功能指标,并采用不同的评价方法对它们进行综合经济评价。研究过程中,结合高天岩自然保护区的实际情况,对相关模型的参数进行修正。

4 结果分析

4.1 社会保障价值

高天岩自然保护区为社会劳力提供就业机会,具有一定的社会保障功能。如果没有研究区的建立,国家必须为这些社会劳力提供维持生存的最低生活保障费用。运用(1)式(表 1),可估算出研究区社会保障的经济价值为 $115.44×10^4$元。

4.2 产品供给价值

由公式(2)(表 1)算得高天岩自然保护区产品供给的总经济价值为 $7691.39×10^4$元。

4.3 固碳释氧价值

根据模型(3)、(4)(表 1)算得高天岩自然保护区各类型森林生态系统初级净生产力及固定 CO_2 和释放 O_2 的物质与经济价值量(表 2)。

4.4 气候调节价值

气候调节功能的经济价值主要指研究区森林蒸腾量和地面水汽蒸发量的总经济价值。由式(6)(表 1)算得水汽蒸腾量为 $4314.46×10^4 m^3/a$;亚热带森林地面水汽蒸发量与降水量之比多在 40%—80%[44],取其中间值 60%,算出地面水汽蒸发量为 $4768.05×10^4 m^3/a$。再通过(5)式(表 1)得到高天岩自然保护区气体调节功能的经济价值为 $1171.64×10^4$元/a。

4.5 调洪蓄水价值

森林生态系统对调洪蓄水具有显著作用。运用公式(7)—(9)(表 1),估算出高天岩自然保护区生态系统年均调洪蓄水的物质量,再运用影子工程法(式(10))(表 1)评估研究区生态系统调洪蓄水的经济价值(表 2)。

4.6 环境净化价值

森林具有吸收 SO_2、NO_x、HF 和消减粉尘等功能,对改善空气质量具有非常重要的作用。由于森林生态系统吸收氟化物和氮氧化物的能力远远低于吸收 SO_2 与消减粉尘的能力[45],故本文只考察高天岩自然保护区森林生态系统吸收 SO_2 和消减粉尘的功能。根据模型(11)(表 1),得到研究区生态系统环境净化的经济价值(表 2)。

表 1　高天岩自然保护区生态系统服务功能价值评估指标、模型及参数说明

Table 1　Model and parameter description of indicator systems for Gaotianyuan Nature Reserve ecosystem services evaluation

功能指标及解析 Functions of service and their analysis		评价方法 Method of evaluation	模型 Model	参数说明及修正 Parameter analysis and correction
社会保障 Social security	指高天岩自然保护区为社会劳动力提供的就业机会	成本替代法[20]	$V_{nr}=N_{lr}\times M_{lr}$　(1)	V_{nr}为社会保障价值(元);N_{lr}为从事保护区相关工作的社会劳动力数,共 370 人(保护区工作人员、以林业产品经营为生的人员等);M_{lr}为区域农村最低社会保障标准(元/人),取萍乡市农村居民最低生活保障标准 260(元 人$^{-1}$月$^{-1}$)[21]
产品供给 Primary production	主要指林木产品和林副产品(具体包括:花卉种植、繁育苗木、活立木蓄积和药材等)	市场价值法[18]	$V_P=\sum M_i\times P_i$　(2)	V_P是产品供给的总经济价值(元),M_i为第 i 种产品的年产量,P_i为第 i 种产品的价格 保护区活立木蓄积量 18.00×10^4 m^3,活立木售价参考任志远与李晶的研究[22],取其修正值 414.88 元/m^3;毛竹 43.11×10^{4}根,平均价格 5 元/根;另外,种植花卉、药材、繁育苗木等每年可收入 8×10^{4}元
固碳释氧 Carbon fixation and oxygen release	本研究指森林生态系统通过生物量 C 库固定 C 素,并通过光合作用释放 O_2	成果参数、造林成本法[23-24]	$V_C=\sum_{i=1}^{k}\mathrm{NPP}_i\times 1.63\times P_C$　(3) $V_O=\sum_{i=1}^{k}\mathrm{NPP}_i\times 1.19\times P_O$　(4)	V_c、V_o分别表示固定 CO_2和释放 O_2的经济价值(元);NPP_i为第 i 类森林类型的净初级生产力;P_c、P_o分别指固定 CO_2和释放 O_2的价格 亚热带常绿针叶林、常绿阔叶林、常绿针阔混交林和竹林的平均净初级生产力分别为 9.87、17.27、3.71、28.37 t hm^{-2} a^{-1}[24];灌木林净初级生产力取运用混合模型估算落叶阔叶林内灌木层净初级生产力的均值 4.01 t hm^{-2} a^{-1}[25];固定 CO_2和释放 O_2的价格基于《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721—2008)[26],修正得 P_c=379.87 元/t CO_2,P_o=1160.70 元/t O_2
气候调节 Climate regulation	主要包括研究区森林蒸腾和地面水汽蒸发作用调节气候的经济价值	成果参数法[17]	$V_{cl}=P_{cl}\times(W_T+W_E)$　(5) $W_T=\Sigma W_{Ti}\times\mathrm{NPP}_i$　(6)	V_{cl}表示气候调节的经济价值;P_{cl}表示单位体积水气蒸腾作用调节气候的经济价值,取 0.129 元/m^3[17];W_T表示森林生态系统水汽蒸腾量(m^3);W_E表示研究区地面水汽蒸发量;W_{Ti}表示第 i 种类型的森林蒸腾系数;NPP_i表示第 i 种类型的森林净初级生产力 由于数据资料的缺乏,本研究中毛竹的蒸腾系数参考乔木;乔木蒸腾系数为 500—1000[27],取其中间值 750;灌木的蒸腾系数为 300—500[27],取中间值 400;各类型森林生态系统的净初级生产力见表 2
调洪蓄水 Flood control and water storage	本研究采用森林生态系统的蓄水效应,即通过比较林地与裸地的径流量,以它们的差量作为调洪蓄水量	成果参数、影子工程法[23,28]	$Q=\Sigma A_i\times J\times R$　(7) $J=J_0\times K$　(8) $R=R_0-R_g$　(9) $V_{dx}=Q\times P_{dx}$　(10)	Q 为与裸地相比较,森林生态系统的调洪蓄水量(m^3);A_i为第 i 种类型森林生态系统的面积(hm^2);J 和 J_0分别为年均降雨产流量(P>20 mm)和年均降雨总量(mm);K 为产流量与降雨总量的比值;R 指相对于裸地,第 i 种类型森林生态系统减少降雨径流的效益系数;R_0与 R_g分别为产流降雨条件下裸地径流率和林地径流率;V_{dx}表示调洪蓄水的经济价值(元);P_{dx}为水库蓄水成本(元/m^3) 基于赵同谦等的研究[24],结合高天岩自然保护区的实际情况,取 J_0=1800,K=0.6,亚热带常绿针叶林、常绿阔叶林、常绿针阔混交林和竹林的 R 值分别取 0.36、0.39、0.34 和 0.22;灌木的 R 值根据刘巽浩[27]和赵同谦等[24]的研究结果进行估算,结果为 0.14;P_{dx}取 0.67[23]的修正值 0.92
环境净化 Environmental purification	考察保护区森林生态系统吸收 SO_2 和粉尘消减的能力	成果参数、影子工程法[29]	$V_J=\Sigma(M_{si}\times P_S+M_{fi}\times P_f)$　(11)	V_J代表环境净化的经济价值(元);M_{si}和 M_{fi}分别表示第 i 类型森林生态系统年吸收 SO_2量(kg/a)和年削减粉尘量(kg/a);P_S是每削减一个单位的 SO_2需要投资的费用(元/kg);P_f为每削减一个单位的粉尘需要投入的成本(元/kg) 基于已有研究结果[29,30-33],结合高天岩自然保护区实际情况,估算出常绿针叶林、常绿阔叶林、常绿针阔混交林、竹林和灌木林对 SO_2的吸收能力分别为 215.60、88.65、152.15、98.06 kg hm^{-2} a^{-1}和 92.10 kg hm^{-2} a^{-1},滞尘能力分别为 33200.00、10110.00、21660.00、20700.00 kg hm^{-2} a^{-1}和 11400.00 kg hm^{-2} a^{-1};消减 SO_2和粉尘的费用基于《中国生物多样性研究报告》,并修正为:每削减 1 kg 的 SO_2,需要投资 0.69 元,运行费用 0.14 元;削减粉尘需要投入成本 0.23 元/kg

续表

功能指标及解析 Functions of service and their analysis		评价方法 Method of evaluation	模型 Model	参数说明及修正 Parameter analysis and correction
土壤保持 Soil conservation	林中土壤被活地被层和凋落物层覆盖，既削减了降水对表土的直接冲击又缓解了地表径流，在很大程度上减少了土壤侵蚀；同时，凋落物的分解与植物根系的活动提高了土壤肥力、改善了土壤结构[29,34]；因此，本研究把土壤保持功能分为保土固沙和肥力保持两个方面 本研究中，保土固沙指减少土地流失、减少泥沙淤积和滞留；肥力保持指防止土壤中的有机质、N、P、K 流失	成本替代[20]、价格替代和影子工程法[29,35]	$V_s=Q_s\times\mu^{-1}\times h^{-1}\times P_i+24\%\times Q_s\times P_e$ (12) $V_F=Q_s\times(Q_N\times P_N+Q_P\times P_P+Q_K\times P_K+Q_{OF}\times P_{OF}\times \mathrm{CPI}_{14}\times(\mathrm{CPI}_{05})^{-1})$ (13) $Q_s=Q_{ms}-Q_{rs}=R_{ref}\times K_{sef}\times LS\times(1-C_{fm}\times P_{wr})$ (14)	V_s表示保土固沙的经济价值量(元/a)；Q_s为单位面积林地的土壤保持物质量(t hm^{-2} a^{-1})，运用修正通用土壤流失方程(*Revised Universal Soil Loss Equation*)(式(14))[36-37]进行估算；μ 表示土壤容重(t/m^3)，取研究区土壤容重均值 0.37；h 指土层平均厚度(m)，为 0.67；P_i、P_e分别代表单位面积林业的平均收益(元 hm^{-2} a^{-1})和 1 m^{3}库容的水库工程费用(元/m^3)，根据余新晓等所给结果[29]，P_i、P_e分别修正为 791.09 元 hm^{-2} a^{-1}、0.88 元/m^3 V_F代表肥力保持的价值，Q_N、Q_P、Q_K、Q_{OF}分别为 *TN*、*TP*、*TK* 和有机质的土壤平均持留量(g/kg)，$Q_N=1.52$、$Q_P=0.48$、$Q_K=0.24$、$Q_{OF}=23.29$；P_N、P_P、P_K分别为 *TN*、*TP*、*TK* 的价格，按照江西省当期市场销售相应肥料的价格进行折算获得[38]，国产尿素(46% N)为 1920(元/t)，钙镁磷(12% P)为 710(元/t)，进口氯化钾(60% K)为 3265(元/t)[38]；P_{OF}是有机质的市场售价，参考肖玉的研究[39]，1kg 有机碳相当于 1.724 kg 有机质，有机碳市场价为 1.47(元/t)；CPI_{05} = 464.00 是 2005 年居民消费价格指数 Q_s为单位面积林地的土壤保持物质量(t hm^{-2} a^{-1})；Q_{ms}表示单位面积土壤最大侵蚀量(t hm^{-2} a^{-1})，即假设地表无任何水土保护措施和植被覆盖时的侵蚀量；Q_{rs}指单位面积土壤的实际侵蚀量(t hm^{-2} a^{-1})；R_{ref}为降雨侵蚀力因子(MJ mm hm^{-2} h^{-1} a^{-1})；K_{sef}为土壤可蚀性因子(t hm^2 h hm^{-2} MJ^{-1} mm^{-1})；LS 为地形因子；C_{fm}为植被覆盖与经营管理因子；P_{wr}为水土保持措施因子；基于已有模型[40-41]，结合高天岩自然保护区生态系统实际情况，估算出 R、K、LS、P_{wr}、C_{fm}的取值，分别为 $R=593.40$、$K=0.30$、$LS=16.77$、$P_{wr}=0.03$、$C_{fm}=0.001$
生物多样性 Biodiversity	主要指高天岩自然保护区具有丰富的物种收藏及野生动植物栖息功能	成果参数	$V_b=(FC_1\times EF_b/FC_0)\times V_{bef}\times A_{nr}$ (15) $V_{bef}=V*_{bef}\times \mathrm{CPI}_{14}/\mathrm{CPI}_{07}$ (16)	V_b为自然保护区生物多样性保护的经济价值；FC_1表示研究区森林覆盖率(99.10%)；EF_b指中国森林生态系统单位面积生态服务价值当量因子(4.51)[42]；FC_0是全国森林覆盖率(21.63%)[43]；V_{bef}为修正后 1 个当量的经济价值量(552.00)；$V*_{bef}$为基期(2007)1 个当量的经济价值量(449.10)[42]；CPI_{14}和 CPI_{07}为当期(2014)和基期(2007)的居民消费价格定基指数，$\mathrm{CPI}_{14}=606.70$ 和 $\mathrm{CPI}_{07}=493.60$；A_{nr}为自然保护区面积(hm^2)
旅游休憩 Tourism and recreation	本研究指高天岩自然保护区为游客提供休闲、娱乐，使人消除疲劳、缓解压力、身心愉悦的功能	旅行费用和价格替代法[17-18]	$V_{ls}=\mathrm{CIT}+\mathrm{AFC}$ (17)	CIT 为旅行总费用，包括游客景区门票、景区停车费、食宿费用、交通费、购买土特产花费和时间机会成本等[18]，由于收集到的数据资料有限，本研究用保护区年旅游综合收入(元/a)代替旅行总费用；AFC 表示与旅游相关的辅助设施建设费用(元/a)，主要指政府为较好地开展生态旅游完善旅游设施投入的费用 2014 年，高天岩自然保护区接待游客 8000 人次，实现旅游综合收入 80.00×10^{4}元；用于完善生态旅游设施建设的费用 107×10^{4}元

表 2　各森林生态系统的固碳释氧、调洪蓄水和环境净化物质量和经济价值量

Table 2　The qualities and economic values of carbon fixation and oxygen release, flood control and water storage and environment purifies of forest ecosystem

服务内容 Service content	森林类型 Forest types					
	针叶林 Coniferous	阔叶林 Broad-leaved	针阔混交林 Conifer-broadleaf	毛竹林 Phyllostachys	灌木林 Shrubwood	合计 Total
NPP_i/ (t/a)	6050.31	40584.50	4774.77	5560.52	1042.60	58012.70
固碳量/ (t/a) Carbon fixation	9862.01	66152.74	7782.88	9063.65	1699.44	94560.72
固碳价值/(×10^4元/a) Value of carbon fixation	374.62	2512.94	295.65	344.30	64.56	3592.07
释氧量/ (t/a) Oxygen release	7199.87	48295.56	5681.98	6617.02	1240.69	69035.12
释氧价值/(×10^4元/a) Value of oxygen release	835.69	5605.67	659.51	768.04	144.01	8012.92
蓄水量/(×$10^4 m^3$/a) Water conservation	23.83	98.98	47.26	4.66	3.93	178.66
蓄水价值/(×10^4元/a) Value of water conservation	21.92	91.06	43.48	4.29	3.62	164.37
吸收 SO_2/(×10^4kg/a) Sulfur dioxide purification	13.22	20.83	19.58	1.92	2.39	57.94
价值量/(×10^4元/a) Value of sulfur dioxide purification	10.97	17.29	16.25	1.59	1.98	48.08
消减粉尘/(×10^4kg/a) Dust abatement	2035.16	2375.85	2787.64	405.72	296.40	7900.77
价值量/(×10^4元/a) Value of dust abatement	468.09	546.45	641.16	93.32	68.17	1817.19

4.7　土壤保持价值

由(14)式(表 1)算得高天岩自然保护区生态系统土壤保持的物质量为 2985.40 t hm^{-2} a^{-1},再用模型(12)、(13)(表 1),得高天岩自然保护区生态系统保土固沙和肥力保持的经济价值(表 3)。

表 3　土壤保持的物质量和经济价值量

Table 3　The qualities and economic values of soil conservation

功能指标 Indexes	服务内容 Service content	物质量 Materials	价值量/(元 hm^{-2} a^{-1}) Values	总价值量/(×10^4元/a) Total values
保土固沙	减少土地损失	12042.76m^2 hm^{-2} a^{-1}	952.69	452.53
Soil fixation and silt decreasing	减少泥沙淤积	716500.00 kg hm^{-2} a^{-1}	630.52	299.50
肥力保持	有机质	69529.97kg hm^{-2} a^{-1}	59286.00	28160.85
Fertilizer conservation	全氮(TN)	4573.81kg hm^{-2} a^{-1}	19090.69	9068.08
	全磷(TP)	1433.00kg hm^{-2} a^{-1}	8478.58	4027.33
	全钾(TK)	716.50kg hm^{-2} a^{-1}	3898.95	1852.00
总计 Total	—	—	92337.43	43860.29

4.8　生物多样性价值

高天岩自然保护区保护区野生动植物资源丰富,生物多样性价值较高。运用公式(15)、(16)(表 1),估算出研究区生态系统生物多样性保护的经济价值为 5417.84×10^4元。

4.9　旅游休憩价值

高天岩自然保护区连接官山国家自然保护区和井冈山国家自然保护区,地理位置独特;保护区内山幽、林秀、水清、野生动植物资源丰富,具有较好的旅游休憩功能。运用公式(17)(表 1),可算得研究区生态系统旅游休憩功能的经济价值为 187×10^4元。

4.10 生态系统服务功能总价值

高天岩自然保护区生态系统服务功能总价值是所评估的 9 个主要服务功能指标的价值综合(表 4)。

表 4 高天岩自然保护区生态系统服务功能总价值

Table 4 Total value of Gaotianyan Nature Reserve ecosystem

功能指标 Function of service	总物质量 Total Qualities/($\times 10^4$kg)	服务总价值 Total values/($\times 10^4$元)	价值比例 Values proportion/%
社会保障 Social security	—	115.44	0.16
产品供给 Primary production	—	7691.39	10.68
固碳释氧 Carbon fixation and oxygen release	16.36	11604.99	16.11
气候调节 Climate regulation	4.31	1171.64	1.63
调洪蓄水 Flood control and storage	178.66	164.37	0.23
环境净化 Environmental purification	7.96	1817.19	2.52
土壤保持 Soil conservation	1418.06	43860.29	60.89
生物多样性 Biodiversity	—	5417.84	7.52
旅游休憩 Tourism and recreation	—	187	0.26
合计 Total	1625.35	72030.15	100

—由于缺乏适宜的度量方法和统一的量纲等原因,暂时无法估算该项指标的物质量

5 讨论

本研究中,社会保障价值仅占服务总价值的 0.16%,排在所评价指标的最后一位。高天岩自然保护区的社会保障功能主要表现为森林经营管理和林副产品开发提供的就业机会,因此,合理开发自然保护区资源,提供更多的就业机会是提高其社会保障价值的有效途径。

产品供给是生态系统提供给人类的重要福祉,是人类文明延续的基石。本研究中,高天岩自然保护区生态系统产品生产的经济价值为 15.07×10^4元/hm^2。然而,在采用统一统计口径计算的情况下,南昆山自然保护区生态系统产品供给的经济价值为 1.66×10^4元/hm^2,喀纳斯自然保护区生态系统产品供给的经济价值为 983.52 元/hm^2,庐山自然保护区生态系统产品供给的经济价值为 1.32×10^4元/hm^2[46]。这在一定程度上说明了高天岩自然保护区生态系统的产品供给功能较强。进一步分析研究认为,高天岩自然保护区森林覆盖率高,单位面积木材蓄积量多,使得高天岩自然保护区比上述同类型自然保护区的产品供给功能强,进而直接增加了产品供给功能的经济效益。

从提供的各种服务功能经济价值来看,2014 年,高天岩自然保护区生态系统以土壤保持、固碳释氧的价值为主,分别占总价值的 60.89%、16.11%。以土壤保持和固碳释氧为主要服务功能类型,说明森林生态系统不仅提供各种林产品和林副产品,而且在土壤保持和固碳释氧等间接服务方面具有更重要的经济价值,因此,在资源开发和管理过程中要注意合理的利用自然保护区资源。

2014 年,莲花县全县生产总值为 51.91×10^8元,面积为全县总面积 4.46%的高天岩自然保护区生态系统,2014 年服务价值量却多达全县国民生产总值的 13.87%,这表明高天岩自然保护区生态系统对莲花县国民经济的发展具有重要的物质、环境和生态支撑作用。因此,今后在高天岩自然保护区的规划、管理和保护过程中,要建立基于生态系统服务价值的生态补偿机制,贯彻"加强保护,积极发展,合理利用"的方针,在现有基础上,改善保护区的设施,提高保护、管理、宣教及合理开发的综合水平,以更好地促进野生动植物资源的保护和发展。同时,合理挖掘开发高天岩自然保护区生态系统潜藏的生态功能,以使高天岩自然保护区生态系统充分发挥它的经济、社会和生态效益,从而实现保护区生态系统的可持续发展。

本文在确定高天岩自然保护区生态系统服务评估指标体系时,充分考虑了自然保护区生态系统的社会、经济和生态效益,比较全面地评估了高天岩自然保护区生态系统的社会贡献;评估模型基于已有的研究结果并结合区域特点,参数选取充分考虑了时效性,因此,价值评估方法较已有研究具有一定的改进。从指标的选

择和评估方法的选取来看,本研究结果具备一定的时效性和合理性,可为合理估算生态系统服务的经济价值提供借鉴。

由于数据资料的缺乏,本文只研究了高天岩自然保护区生态系统 9 项功能指标的价值,其他如教学科研、物种保存、提供负离子等[26]功能的价值未加考虑,因此,高天岩自然保护区生态系统的实际服务总价值应该更大。本研究以 2014 年的数据为基础,对高天岩自然保护区生态系统服务功能价值进行最终评估,缺乏对高天岩自然保护区生态系统服务功能价值的动态了解,未能反映高天岩自然保护区生态系统服务功能未来变化趋势。建立生态系统服务功能价值评估的动态模型,对监控和管理高天岩自然保护区具有现实意义。由于缺乏适宜的度量方法和统一的量纲等原因,社会保障、生物多样性保护和文化功能的物质量无法估算。建立合理的换算机制,把各服务功能的物质量统一度量标准对于识别服务功能指标的重要性有着重要的意义。目前,由于生态系统服务功能价值评估的各种模型和方法都存在选取者的偏好和主观性,因此,在对生态系统作评价时所得结果和真实值会存在一定的偏差。确定评估模型的估算精度,选择最优评估模型值得进一步探讨。

6　结论

通过对物质量和经济价值量进行估算,高天岩自然保护区提供了约 7.20×10^8 元的生态系统服务功能总价值和每公顷约 342.18×10^4 kg/hm^{2}的物质量。评估结果用直观的经济数据揭示了高天岩自然保护区生态系统对人类社会的直接贡献,保护自然保护区生态系统就是保护人类福祉。在所计算的 9 项功能指标最终服务中,土壤保持无论是在物质量方面,还是在经济价值量方面,都居首位,分别占总量的 87.26%和 60.89%。说明土壤保持是高天岩自然保护区提供给人类的核心服务。9 项服务指标的生态经济价值按其大小排序依次为:土壤保持>固碳释氧>产品供给>生物多样性保护>环境净化>气候调节>旅游休憩>调洪蓄水>社会保障。由于缺乏适宜的度量方法和合理的换算标准,物质量的比较仅对环境净化、土壤保持、调洪蓄水、固碳释氧和气候调节,大小排序依次为:土壤保持>调洪蓄水>固碳释氧>环境净化>气候调节。

参考文献(References):

[1] 闫颜, 王智, 高军, 徐网谷, 蒋明康. 我国自然保护区地区分布特征及影响因素. 生态学报, 2010, 30(18): 5091-5097.

[2] 徐网谷, 王智, 钱者东, 张昊楠, 范鲁宁, 蒋明康. 中国自然保护区范围界定和有效保护面积现状分析. 生态与农村环境学报, 2015, 31(6): 791-795.

[3] 许志晖, 丁登山. 南昆山国家自然保护区生态系统服务功能价值评估. 经济地理, 2006, 26(4): 677-680.

[4] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. 4th ed. Washington, DC: Island Press, 1997.

[5] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.

[6] Costanza R. Social goals and the valuation of ecosystem services. Ecosystems, 2000, 3(1): 4-10.

[7] 赵景柱, 肖寒, 吴刚. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析. 应用生态学报, 2000, 11(2): 290-292.

[8] Lei K, Wang Z S. The value of the ecosystem services and method. Journal of Geographical Sciences, 2003, 13(3): 339-347.

[9] 李文华, 张彪, 谢高地. 中国生态系统服务研究的回顾与展望. 自然资源学报, 2009, 24(1): 1-10.

[10] Kronenberg J. Environmental impacts of the use of ecosystem services: case study of birdwatching. Environmental Management, 2014, 54(3): 617-630.

[11] Xue H, Li S Y, Chang J. Combining ecosystem service relationships and DPSIR framework to manage multiple ecosystem services. Environmental Monitoring and Assessment, 2015, 187: 117.

[12] 刘利花, 尹昌斌, 钱小平. 稻田生态系统服务价值测算方法与应用——以苏州市域为例. 地理科学进展, 2015, 34(1): 92-99.

[13] 肖强, 肖洋, 欧阳志云, 徐卫华, 向轼, 李勇志. 重庆市森林生态系统服务功能价值评估. 生态学报, 2014, 34(1): 216-223.

[14] 冯继广, 陆彬, 王景升, 姚萍萍, 姚帅臣, 王志凯. 基于案例的中国森林生态系统服务功能评价. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1375-1382.

[15] Roesch-McNally G E, Rabotyagov S S. Paying for forest ecosystem services: voluntary versus mandatory payments. Environmental Management,

2016, 57(3): 585-600.
[16] 闵庆文, 谢高地, 胡聃, 沈镭, 严茂超. 青海草地生态系统服务功能的价值评估. 资源科学, 2004, 26(3): 56-60.
[17] 孔东升, 张灏. 张掖黑河湿地自然保护区生态服务功能价值评估. 生态学报, 2015, 35(4): 972-983.
[18] 江波, 张路, 欧阳志云. 青海湖湿地生态系统服务价值评估. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3137-3144.
[19] 谢高地, 肖玉, 鲁春霞. 生态系统服务研究: 进展、局限和基本范式. 植物生态学报, 2006, 30(2): 191-199.
[20] 缪建群, 杨文亭, 杨滨娟, 马艳芹, 黄国勤. 崇义客家梯田区生态系统服务功能及价值评估. 自然资源学报, 2016, 31(11): 1817-1831.
[21] 萍乡市民政局. 萍乡市2015年度民政工作情况汇报. 中国萍乡网, (2016-04-07). http://www.pxnews.cn/system/2016/04/07/014813568.shtml.
[22] 任志远, 李晶. 陕南秦巴山区植被生态功能的价值测评. 地理学报, 2003, 58(4): 503-511.
[23] 《中国生物多样性国情研究报告》编写组. 中国生物多样性国情研究报告. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
[24] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 王效科, 苗鸿. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491.
[25] 曾慧卿, 刘琪璟, 冯宗炜, 马泽清, 胡理乐. 红壤丘陵区林下灌木生物量估算模型的建立及其应用. 应用生态学报, 2007, 18(10): 2185-2190.
[26] 国家林业局. LY/T 1721-2008 森林生态系统服务功能评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2008.
[27] 刘巽浩. 森林生态的几个问题. 中国农业资源与区划, 2005, 26(2): 14-17.
[28] 司今, 韩鹏, 赵春龙. 森林水源涵养价值核算方法评述与实例研究. 自然资源学报, 2011, 26(12): 2100-2109.
[29] 余新晓, 鲁绍伟, 靳芳, 陈丽华, 饶良懿, 陆贵巧. 中国森林生态系统服务功能价值评估. 生态学报, 2005, 25(8): 2096-2102.
[30] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
[31] 马新辉, 孙根年, 任志远. 西安市植被净化大气物质量的测定及其价值评价. 干旱区资源与环境, 2002, 16(4): 83-86.
[32] 鲁春霞, 谢高地, 肖玉, 于云江. 青藏高原生态系统服务功能的价值评估. 生态学报, 2004, 24(12): 2749-2755.
[33] 靳芳, 鲁绍伟, 余新晓, 饶良懿, 牛建植, 谢媛媛, 张振明. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1531-1536.
[34] 唐秀美, 潘瑜春, 高秉博, 郜允兵. 北京市平原造林生态系统服务价值评估. 北京大学学报: 自然科学版, 2016, 52(2): 274-278.
[35] 李偲, 海米提·依米提, 李晓东. 喀纳斯自然保护区森林生态系统服务功能价值评估. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10): 92-97.
[36] Markose V J, Jayappa K S. Soil loss estimation and prioritization of sub-watersheds of Kali River basin, Karnataka, India, using RUSLE and GIS. Environmental Monitoring and Assessment, 2016, 188: 225.
[37] Gao H D, Li Z B, Jia L L, LI P, Xu G C, Ren Z P, Pang G W, Zhao B H. Capacity of soil loss control in the Loess Plateau based on soil erosion control degree. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(4): 457-472
[38] 刘晓斌. 江西省2014年主要农产品和农资价格运行情况及2015年走势展望. 江西农业信息网, (2015-04-20)[2016-04-16]. http://www.moa.gov.cn/fwllm/qgxxlb/jx/201504/t20150420_4534696.htm.
[39] 肖玉. 中国稻田生态系统服务功能及其经济价值研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2005.
[40] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1-20.
[41] 李新艳, 杨勤科, 王春梅. 赣南地区侵蚀地形因子研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2014, 42(1): 175-182, 188-188.
[42] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.
[43] 焦玉海, 王钰, 蔺哲. 全国森林面积2.08亿公顷森林覆盖率21.63%. 中国绿色时报, 2014-02-26(1).
[44] 周晓峰, 赵惠勋, 孙慧珍. 正确评价森林水文效应. 自然资源学报, 2001, 16(5): 420-426
[45] 王兵, 魏江生, 胡文. 中国灌木林-经济林-竹林的生态系统服务功能评估. 生态学报, 2011, 31(7): 1936-1945.
[46] 胡海胜. 庐山自然保护区森林生态系统服务价值评估. 资源科学, 2007, 29(5): 28-36.